

УДК 621.313

**И.П. ЗАБОЛОТНЫЙ** (д-р техн.наук, проф.), **С.А. ГРИШАНОВ**  
Донецкий национальный технический университет  
**ivp@elf.dgtu.donetsk.ua**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

*В статье изложены результаты исследования по определению параметров электромеханического переходного процесса в электрической системе при использовании различных схем замещения генератора. Даны рекомендации, которые позволяют уменьшить неопределенность выбора исходных данных при имитационном моделировании аварийных ситуаций в электрических системах с помощью известных компьютерных программ.*

**Актуальность темы.** В настоящее время для исследования переходных режимов в электрических системах наиболее широко используются специализированные компьютерные программы («Mustang»; «Корона»; «СДО-6»; «Каскад-Петрен»; «Анарэс»; «Dakar»; «Eurostag»; «PSS/E»; «SimPow»; «Netovac»; «Plse»; «DIGSILENT PowerFactory» и др.), а также универсальные пакеты моделирования с наборами приложений, например среда Matlab.

Программные комплексы можно классифицировать по факторам: степень соответствия требованиям построения открытых систем; возможность включения в программное обеспечение современных SCADA-систем; реализованные технологии ведения информации и программирования; наличие стандартных моделей IEEE систем регулирования; различных источников энергии, включая нетрадиционные; возможности использования современных устройств регулирования: FACTS; сверхпроводящих накопителей энергии; степень отражения физических явлений в моделях элементов; наличие макроязыка для создания новых моделей и формирования сценариев событий имитационного моделирования; отражение новых технологий построения и управления электрическими системами.

Общим фактором для существующих программ является представление машин переменного тока генераторов с помощью схем замещения различного вида при наличии ряда методик для определения параметров, что вызывает определенные трудности при формировании модели исходных данных для исследования переходных режимов в электрических системах.

**Цель работы, методика проведения исследований.** Целью работы является анализ влияния структуры и параметров схем замещения на параметры электромеханического переходного процесса генератора.

Методика исследования основана на следующих положениях.

1. Схемы замещения с многоконтурными демпферными контурами, параметры которых синтезированы по данным специальных испытаний адекватно отражают физические процессы в массивном роботе турбогенератора.

2. Эффективность использования многоконтурных схем замещения для определения параметров переходных режимов подтверждается результатами сопоставительного анализа результатов моделирования асинхронного режима, вызванного потерей возбуждения турбогенератором при разных состояниях обмотки возбуждения с данными натурных испытаний [1-4].

3. Установлено, что отражение эффекта вытеснения тока в роторе турбогенератора и распределение токов в роторе определяется числом демпферных контуров по осям симметрии ротора и структурой схемы. Число контуров демпферных обмоток с постоянными параметрами должно составлять не менее двух по каждой оси ротора [5-6].

4. Наличие информации о схемах замещения различной структуры и параметрах, полученных различными способами; параметрах переходных режимов, полученных экспериментальными путем разными исследователями для генераторов типа ТВВ-200, ТВВ-320, ТГВ-200.

5. Структура и параметры реализованных в существующих программах исследования переходных процессов схем замещения могут быть представлены с помощью обобщенная схемы замещения турбогенератора (рис. 1).

Для отражения поверхностного эффекта с учетом конструкции ротора в многоконтурных схемах замещения обмотка возбуждения генератора (ОВГ) [7-9], демпферная система (ДС) учитываются в виде нескольких контуров с постоянными параметрами. Сопротивления рассеяния, не связанные с эффектом вытеснения тока, учитываются с помощью собственного сопротивления взаимоиндукции массива ротора  $X_{\sigma d}$ ,  $X_{\sigma q}$ ; сопротивления взаимоиндукции массива и обмотки возбуждения  $X_{\sigma m}$  [10-12]. Определение величин  $X_{\sigma d}$ ,  $X_{\sigma q}$ ,  $X_{\sigma m}$  представляет значительные затруднения ввиду сложного характера поля рассеяния.

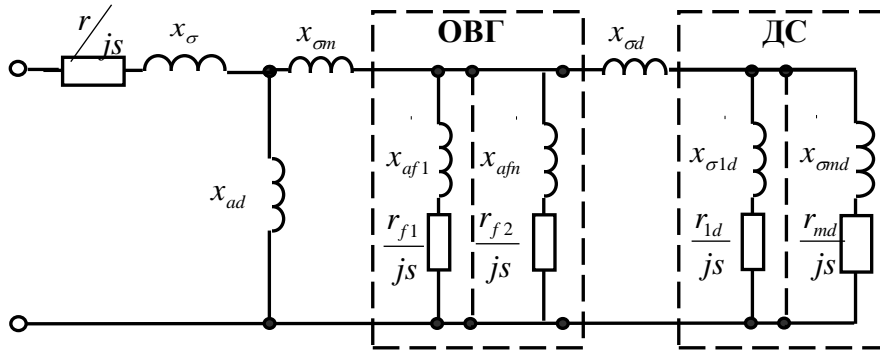


Рисунок 1- Обобщенная схема замещения СМ по оси d

Методика исследования включала в себя следующие этапы:

1) параметрический синтез схем замещения генераторов различной структуры и различным числом контуров по частотным характеристикам генераторов ТВВ-200, ТВВ-320, ТГВ-200. При идентификации значения  $X_{\sigma d}$ ,  $X_{\sigma q}$  выбирались из диапазона от 0,001 до 0,08 о.е.;

2) сопоставление результатов синтеза для оценки отклонения в частотной области входной проводимости машины переменного тока со стороны статора и составляющих, отражающих структуру ротора;

3) сопоставления результатов моделирования асинхронного режима генератора, работающего в электрической системе простейшего типа (генератор – трансформатор - эквивалентная система) без и с учетом системы регулирования скорости для исключения факторов, которые могут нивелировать особенности структуры и параметров схем замещения на параметры электромеханического переходного процесса.

**Результаты исследований.** В процессе выполнения поставленных в работе задач для достижения цели получены следующие результаты:

1. Синтезированы схемы замещения, входные проводимости которых со стороны обмотки статора практически совпадают, отличающиеся параметрами и структурой представления массива. На рис. 2, в качестве примера приведена информация для генератора типа ТВВ-320.

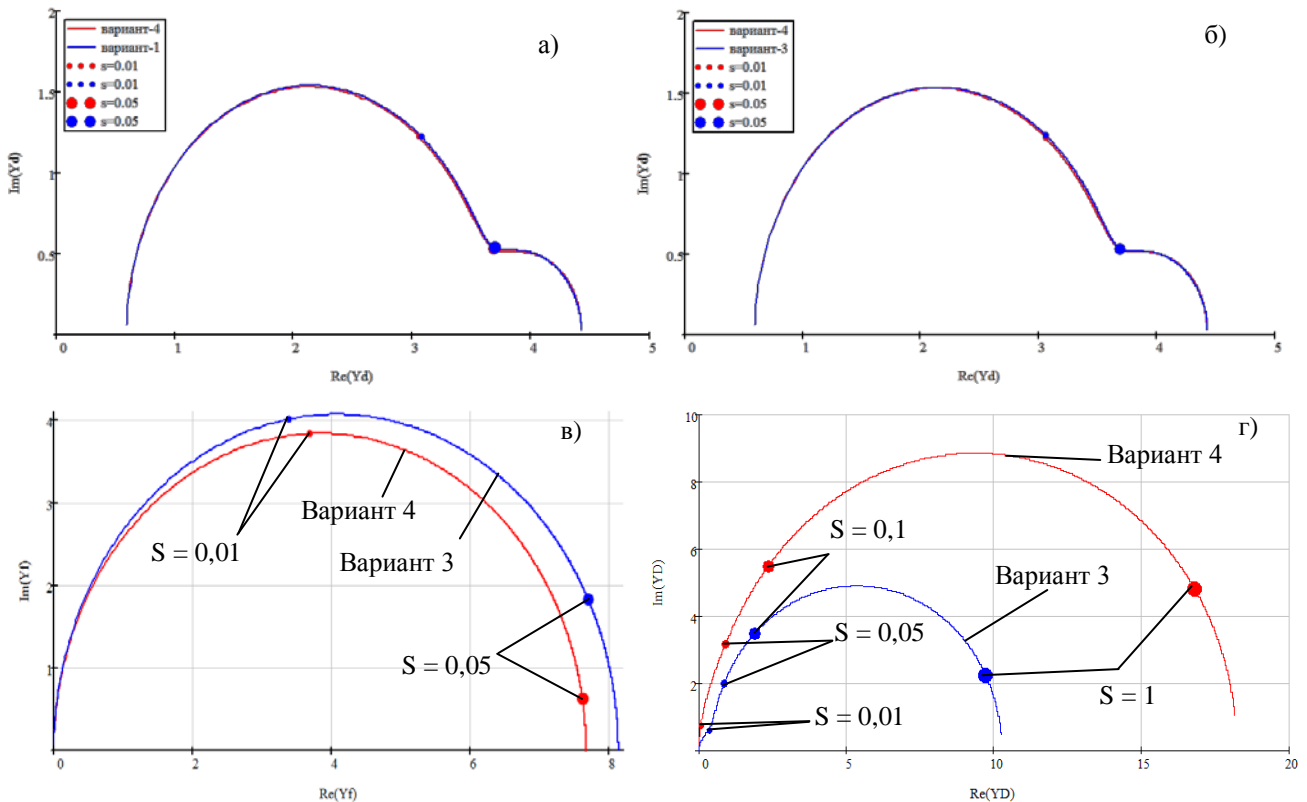


Рисунок 2 – Примеры частотных характеристик (а - полные ЧХ по оси d при сопоставлении вариантов схем замещения 1 и 4; б - полные ЧХ по оси d при сопоставлении вариантов схема замещения 3 и 4; в - ЧХ в массиве ОБГ при сопоставлении вариантов схема замещения 3 и 4; г - ЧХ в демпферном массиве при сопоставлении вариантов схема замещения 3 и 4)

Сравнивались результаты расчета асинхронного режима, полученные для следующих вариантов схем замещения СГ: вариант 1 – традиционная схема замещения СГ (ОВГ, 2 d), полученная на основе синтеза исходной схемы замещения СГ (2 ОВГ, 2 d); вариант 2 – традиционная схема замещения СГ (ОВГ, 2 d), полученная на основе синтеза исходной схемы замещения СГ (2 ОВГ, 2 d); вариант 3 – традиционная схема замещения СГ (ОВГ, 2 d), полученная на основе синтеза исходной схемы замещения СГ (2 ОВГ, 2 d) (удачно синтезированная); вариант 4 – взятая за основу схема замещения СГ по оси d с двумя контурами в ОВГ и двумя демпферными контурами.

2. Выполнено сопоставление расчетов асинхронного режима, возникающего при потере возбуждения, для мощности исходного режима  $(0,4-0,6)P_{ном}$  при замыкании ОВГ в электромеханическом переходном режиме на сопротивление самосинхронизации, накоротко, на тиристоры системы возбуждения и при разомкнутом состоянии ОВГ для различных вариантов схем замещения на примере генераторов ТВВ-320 и ТВВ-200. Установлено, что:

- учет сопротивлений, не связанных с эффектом вытеснения в роторе, не приводит к уточнению параметров асинхронного режима (рис. 3);

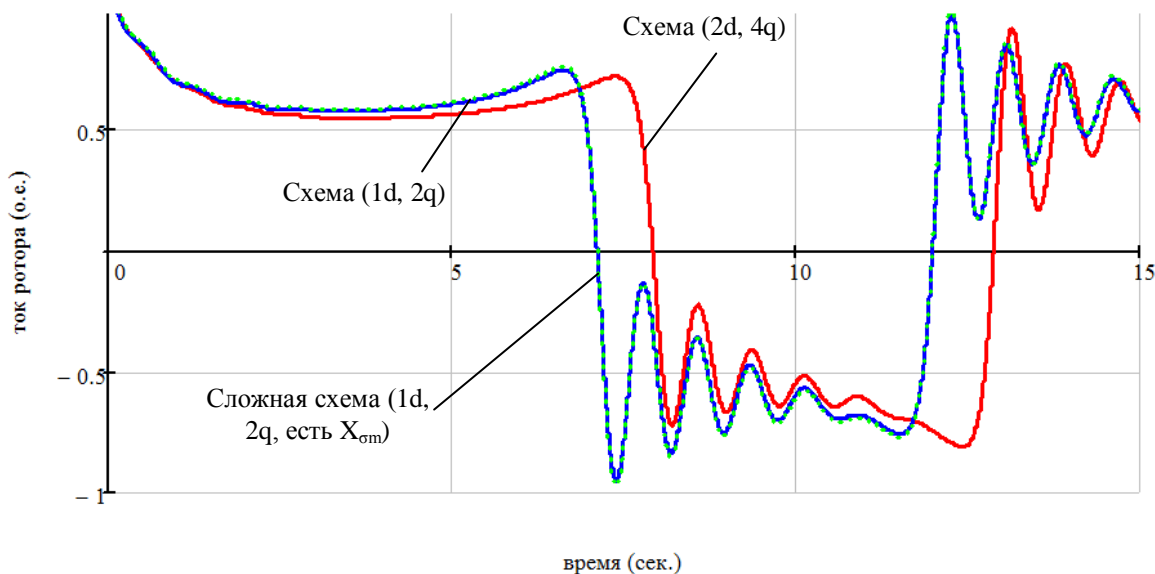


Рисунок 3 – Сопоставление расчетов асинхронного режима, возникающего при потере возбуждения и короткозамкнутой ОВГ, для различных вариантов схем замещения генератора ТВВ-200

- представление ОВГ двумя контурами также не приводит к уточнению значений тока в обмотке (рис. 4);

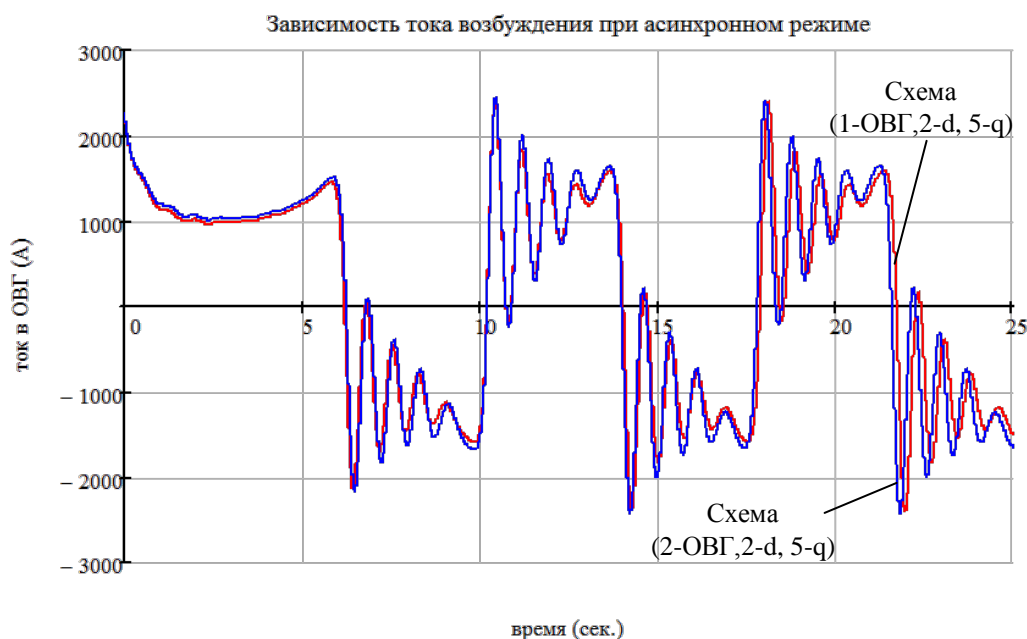


Рисунок 4 – Сопоставление расчетов асинхронного режима, возникающего при потере возбуждения и короткозамкнутой ОВГ, для различных вариантов схем замещения генератора ТВВ-320

- в режимах, когда ОВГ не находится в разомкнутом состоянии использование одного демпферного контура по оси  $d$  является достаточным для предопределения параметров режима, в противном случае (отключено АГП, угол вылета ротора находится в интервале  $180-360^{\circ}$  при учете тиристорной системы возбуждения) ошибка моделирования движения ротора значительна (отличие в периоде проворота ротора генератора).

#### Выводы.

1. При моделировании электромеханических переходных процессов в электрических системах нет необходимости учитывать эффект вытеснения тока в ОВГ с помощью увеличения числа контуров, а также учитывать сопротивления взаимоиндукции массива  $X_{sd}$ ,  $X_{sq}$ .

Указанные параметры схемы замещения сказываются на высокочастотной области частотных характеристик и проявляются в начальной стадии протекания электромагнитных процессов.

2. Поскольку области частотной характеристики турбогенератора, на которые влияют параметры демпферного контура и сопротивления взаимоиндукции массива различаются, то при меньшем числе контуров и наличии сопротивления взаимоиндукции точность предопределения параметров электромеханического переходного процесса снижается.

3. Схему замещения, в структуру которой включено индуктивное сопротивление массива ротора, целесообразно использовать, если методика определения параметров схемы не позволяет с достаточной точностью отразить сверхпереходные сопротивления (область частотных характеристик при скольжении более единицы), например при использовании [14].

4. Предопределение движения ротора при моделировании электромеханических процессов в электрической системе при возможности возникновения ситуаций, когда ОВГ некоторое время остается разомкнутой возможно с достаточной точностью возможно при учете по оси  $d$  не менее двух демпферных контуров.

5. При параметрическом синтезе схемы замещения с меньшим числом контуров следует учитывать связь между областью частотной характеристики и видом переходного процесса. В этом случае использование методов оптимизации может привести к суммарной меньшей погрешности результата синтеза, но решение определенной системы уравнений на основании задаваемых скольжений позволяет точнее отразить нужную область частотной характеристики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рогозин Г.Г. Расчет асинхронного режима генератора ТГВ-200 с использованием экспериментальной частотной информации / Г.Г. Рогозин, И.П. Заболотный // Изв. Вузов. Энергетика. – 1976. - №8. - С. 3-8.
2. Баракин К.А. Математическая модель турбогенератора для исследования асинхронного режима его работы на АВМ и ЦВМ / Баракин К.А., Гамм Б.З., Коган Ф.Л. - М.: Энергия. - 1976. - С. 75-84.
3. Заболотный И.П. Анализ электромагнитных параметров и некоторых переходных процессов в турбогенераторах мощностью 500 МВт / Заболотный И.П., Каплунов В.Б., Ларин А.М., Лернер Л.Г., Рогозин Г.Г. // Электротехника. – 1984. - №10. – С. 14-18.
4. Гамм Б.З. Исследование переходных процессов в электроэнергетической системе при учете некоторых ее элементов динамическими характеристиками / Б.З. Гамм. – 1972. - Вып. 21. – С.43-48.
5. Дандено Р.Л. Современные тенденции и достижения в области моделирования синхронных машин в электроэнергетике / Дандено Р.Л., Кундур Р., Шульц Р.П.; перевод с англ. Proc. IEE. – 1974. – 62.7. – С. 95-106.
6. Coles H.E. Dynamic performance of a turbogenerator utilising 3-term governor control and voltage regulator / Coles H.E. // Proc. IEE. – 1968. - 115, March. – P. 266-279.
7. Сидельников А.В., Синтез схемы замещения синхронной машины при представлении обмотки возбуждения многоконтурной цепью / А.В. Сидельников // Электротехника. – 1983. - №7. – С. 25-28.
8. Рогозин Г.Г. Об учете влияния вытеснения тока в обмотке возбуждения при определении электромагнитных параметров синхронной машины по данным опытов затухания постоянного тока / Г.Г. Рогозин, И.И. Ларина // Научные труды ДонГТУ. Серия: Электромеханика и электроэнергетика. – 1996. – Вып 1. – С. 85-89.
9. Ларин А.М. Экспериментальное определение параметров схем замещения синхронных машин при представлении обмотки возбуждения многоконтурной цепью / А.М. Ларин, Гуедида Фаузи Бен Килани // Электротехніка і електромеханіка. – 2008. - №3. – С.37-40.
10. Рогозин Г.Г. Определение электромагнитных параметров структурной схемы замещения ротора турбогенератора / Г.Г. Рогозин, Н.Г. Пятлина, В.А. Ковязин // Научные труды ДонГТУ. Серия: Электромеханика и электроэнергетика. - 1996. - Вып 1. – С. 98-102.
11. Сивокобыленко В.Ф. Определение параметров схем замещения синхронных машин / В.Ф. Сивокобыленко, В.К. Лебедев // Научные труды ДонГТУ. Серия: Электромеханика и электроэнергетика. - 1996. - Вып 1. – С. 90-92.
12. Escarela-Perez R. Unique Determination of One-Damper D-Axis Circuits of Synchronous Machines Using Finite-Element Simulations / Escarela-Perez R., Campero-Littlewood E., Niewierowicz T., Hernandez-Anaya // IEEE Transactions on Energy Conversion.- 2005. - Vol.-16, No 2. – P. 137 – 142.
13. Kundur P. Power System Stability and Control / P. Kundur. – McGraw, Inc. – 1994. – 1167 p.
14. Лютер Р.А. Расчет синхронных машин / Р.А. Лютер. – Л.: Энергия, 1979. – 272 с.

І.П. ЗАБОЛОТНИЙ, С.О. ГРИШАНОВ  
Донецький національний технічний університет

I. ZABOLOTNY, S. GRISHANOV  
Donetsk National Technical University

**Дослідження впливу виду схеми заміщення турбогенератора на параметри електромеханічних перехідних процесів в електричних системах.** У статті викладені результати дослідження з визначення параметрів електромеханічного перехідного процесу в електричній системі при використанні різних схем заміщення генератора. Дані рекомендації, які дозволяють зменшити невизначеність вибору вихідних даних при імітаційному моделюванні аварійних ситуацій в електричних системах за допомогою відомих комп'ютерних програм.

**Research the Influence of Turbogenerator Equivalent Circuit Type on Electromechanical Transients Parameters in Electric Systems.** In the article the results of the research into electromechanical transient parameters in an electric system are obtained using various equivalent circuits of the generator. Recommendations which allow reducing uncertainty of the initial data choice during imitating modeling of emergencies in electric systems by means of known computer programs are offered.